11 月 November
2020, 63(11): 1366 - 1376
昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA
http://www.insect.org.cn
doi: 10.16380/j.kcxb.2020.11.009

转基因抗除草剂大豆对大豆田节肢动物及杂草多样性的影响

陈彦君[1,3], 刘来盘[2], 关 潇[1,*], 刘 标[2,*]

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 生态环境部南京环境科学研究所, 南京 210042; 3. 海南大学热带作物学院, 海口 570228)

摘要:【目的】随着转基因作物种植面积的不断加大,其生态安全问题也越来越受到关注。对生物多样性的影响研究作为转基因作物环境安全释放的必要环节,亦是客观评价其风险的重要手段。本研究旨在分析抗除草剂大豆对大豆田节肢动物及杂草多样性的影响。【方法】2019 年 6 - 9 月,调查安徽合肥分别种植 4 种处理大豆品种[喷施清水的我国自主研发的转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33、受体大豆华春 3 号(HC-3)和本地主栽大豆品种中黄 13 (ZH-13),以及施用草甘膦除草剂农达(3 000 mL/hm^2)的转基因大豆 ZUTS-33]的大豆田中的节肢动物数量(百株虫口数)和多样性指数(丰富度指数、香农指数、辛普森指数、优势集中性指数和均匀度指数),害虫和天敌的种类和数量,以及杂草密度、种类、数量和多样性指数。【结果】2019 年,安徽合肥大豆田生长前期和中期大豆百株虫口数除 8 月 13 日表现为喷施清水的 ZUTS-33 处理组显著高于其他 3 种处理外,其他调查时间 4 种处理间百株虫口数变化趋势一致。大豆生长前期和中期 4 种处理间田间节肢动物数量和各生物多样性指数均差异不显著,调查期间 4 种处理间粉虱、蚜虫、蓟马、叶甲、叶蝉和棉铃虫 6 类害虫数量与蜘蛛、瓢虫、草蛉、花蝽、盲蝽和造桥虫 6 类天敌数量的变化趋势较为一致。调查的大豆田杂草隶属 8 科 10 种。喷施除草剂的 ZUTS-33 组田间杂草密度和杂草数量显著低于其他 3 种处理,大豆生长后期田间杂草的丰富度指数、香农指数、辛普森指数和均匀度指数与其他 3 种处理的差异显著。【结论】转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33 的种植对大豆田田间节肢动物及杂草多样性无显著影响。

关键词: 转基因作物; 大豆; 除草剂; ZUTS-33; 节肢动物; 生物多样性; 生物安全

中图分类号: Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2020)11-1366-11

Impact of transgenic herbicide-resistant soybean on the diversity of arthropods and weeds in soybean fields

CHEN Yan-Jun[1,3], LIU Lai-Pan[2], GUAN Xiao[1,*], LIU Biao[2,*] (1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Nanjing Institute of Environment Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China; 3. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract:【Aim】With the increasing of planting areas of transgenic crops, more and more attention has been paid to the ecological security issues. The study of the impact of the transgenic crops on biodiversity is not only an important component for the environmental release of transgenic crops, but also an important tool to objectively evaluate their risks. This study aims to analyze the impacts of herbicide-

基金项目: 转基因生物新品种培育重大专项(2016ZX08012005); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(gyzx200103)
作者简介: 陈彦君, 女, 1992 年 3 月生, 山东淄博人, 博士研究生, 研究方向为农业生物技术, E-mail: 1006414990@qq.com
* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: cynthia815@126.com; liubiao@nies.org
收稿日期 Received: 2020-03-25; 接受日期 Accepted: 2020-06-02

resistant soybean on the diversity of arthropods and weeds in soybean fields.【Methods】From June to September 2019, we investigated the number of arthropods (the number of insects per 100 plants) and their diversity indexes (Margalef index, Shannon-Wiener index, Simpson index, dominance concentration index and Pielou index), the species and quantity of pests and natural enemies, and the density, species, quantity and diversity indexes of weeds in soybean fields planted with soybean cultivars of four treatments, *i. e.*, the herbicide-resistant transgenic *g10-epsps* soybean ZUTS-33 developed in China, the receptor soybean Huachun 3 (HC-3) and the main soybean cultivar Zhonghuang 13 (ZH-13) sprayed with water, and the transgenic soybean ZUTS-33 sprayed with the glyphosate herbicide Roundup (3 000 mL/hm^2), respectively, in Hefei, Anhui Province, eastern China.【Results】In the early and middle growth stages of soybean in 2019, the numbers of insects per 100 plants in the four treatments exhibited similar changing trends except that the number of insects per 100 plants in the treatment of ZUTS-33 sprayed with water on August 13 was significantly lower than those in the other three treatments. The number of arthropods and their various diversity indexes showed no significant difference among the four treatments at the early and middle growth stages of soybean, and the numbers of six pest groups including whiteflies, aphids, thrips, leaf beetles, leafhoppers and *Helicoverpa armigera* and the numbers of six natural enemy groups including spiders, ladybirds, lacewing, flower bugs, plant bugs and *Anomis flava* showed similar dynamics among the four treatments during the investigation period. There were 10 weed species belonging to 8 families in the investigated soybean fields. The density and number of weeds in the treatment of ZUTS-33 sprayed with Roundup were significantly lower than those in the other three treatments, and their Margalef index, Shannon-Wiener index, Simpson index, and Pielou index in the treatment of ZUTS-33 sprayed with Roundup were significantly different from those in the other three treatments at the late growth stage of soybean.【Conclusion】The planting of the herbicide-resistant transgenic *g10-epsps* soybean ZUTS-33 has no significant effect on the diversity of arthropods and weeds in soybean fields.

Key words: Transgenic crop; soybean; herbicide; ZUTS-33; arthropod; biodiversity; biosafety

2019 年是转基因作物商业化种植的第 24 年。2018 年国际农业生物技术应用服务组织(International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, ISAAA)报告显示,全球 26 个国家种植了 1.917 亿公顷转基因作物,与 2017 年相比增幅为 1%,较 1996 年增长了约 113 倍;2018 年全球种植面积相对较大的转基因作物主要是大豆、玉米、棉花和油菜,其中转基因大豆的种植面积最大,占全球转基因作物种植总面积的 50%,应用率为 78%;抗除草剂、抗虫和复合性状是全球转基因作物的主要目标性状,1997 –2018 年种植面积最大的为抗除草剂转基因作物,其 2018 年的种植面积占转基因作物种植总面积的 46%(国际农业生物技术应用服务组织, 2019)。

随着生物技术的快速发展,转基因作物潜在的生态风险越来越值得关注(Gilbert, 2013)。但目前由于对科学认知的局限性、生态系统的复杂性、生物技术的新颖性和部分领域的未知性,转基因作物种植是否会带来环境安全问题,尤其是对生物多样性的影响,尚未得出明确结论(刘华锋和沈海滨, 2013)。部分研究表明,转基因作物种植对根际土壤微生物、昆虫、杂草等的群落结构与组成无显著影响(Lee *et al*., 2017; 尹俊琦等, 2017; 刘来盘等, 2019);但也有研究认为其种植会影响田间生物多样性(Turrini *et al*., 2015; 姜文虎等, 2018)。这表明,转基因作物对生物多样性的影响因受体、外源基因等的差异而有所不同,对其的安全评价应遵循"个案原则"(刘标等, 2016)。

大豆作为全球种植面积最大的油料作物,占据了油料总产量的 50% 以上。随着对大豆需求的日益增长,转基因大豆因成本低、产量大,成为全球大豆的主要来源,带来了显著的社会经济效益(谭巍巍等, 2019)。*g10-epsps* 基因因其对除草剂的优良抗性已逐渐应用于大豆、棉花、玉米等作物,转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33 是我国自主研发、具有知识产权的新型转基因大豆材料,对我国转基

因作物发展具有深远意义。但因其目前仍处于田间释放阶段,针对环境安全方面的研究较为有限,其是否会对田间生物多样性产生影响仍未得到明确结论。本研究以转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33 为研究对象,重点探讨其种植对田间节肢动物、杂草多样性的影响,以期为其生态安全评价提供数据支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于安徽省农业科学院岗集生态农业试验示范基地(31°57′49″N, 117°12′28″E),实验材料为转 *g10-epsps* 基因耐除草剂大豆 ZUTS-33(浙江大学提供)、受体华春 3 号(HC-3)、本地主栽大豆品种中黄 13(ZH-13)。

实验采取随机区组设计,共种植 4 种处理大豆品种,分别为喷施清水的 ZUTS-33, HC-3 和 ZH-13,以及喷施目标除草剂的转基因大豆 ZUTS-33;每处理 4 次重复,每个小区 150 m^2(10 m × 15 m),小区间设置 1 m 宽空白隔离带,于 2019 年 6 月初播种,采用双粒穴播,株距 0.2 m,行距 0.5 m。于 2019 年 7 月 20 日对需喷目标除草剂处理的小区喷施草甘膦除草剂农达(Roundup),施用剂量为 3 000 mL/hm^2。其他 3 种处理均不喷施除草剂、不进行人工除草。根据《农业转基因生物安全管理通用要求试验基地》要求,本次转基因大豆种植符合监管部门要求的隔离距离且隔离距离内无野生近缘种,同时符合要求的其他相关规定。

1.2 样品采集

1.2.1 田间节肢动物调查:从大豆出苗到成熟,即 2019 年 6 月 11 日 – 9 月 10 日,采用直接观察法,每 7 d 调查一次(具体调查时间可根据天气情况做适当调整),共调查 13 次。调查采用五点法,避开道路等影响因素,每点调查 20 株,记载田间节肢动物的种类和数量。

1.2.2 田间杂草调查:每小区按照五点采样法选取 5 个 1 m × 1 m 样方(避开节肢动物调查选取的点),在喷施除草剂前(7 月 10 日)调查 1 次、喷施除草剂后调查 3 次(7 月 30 日、8 月 5 日、8 月 27 日),记录各样方杂草种类和植株数量。

1.3 数据分析

统计分析各个调查时期节肢动物与杂草群落的结构与组成,计算其群落丰富度指数、多样性指数、优势集中性指数、均匀度指数。丰富度指数:$Dmg = (S-1)/\ln N$;香农指数:$H = -\sum Pi\ln Pi$;辛普森指数:$D = 1-\sum Pi^2$;优势集中性指数:$C = \sum (Ni/N)^2$;均匀度指数:$J = H/\ln S$。式中,S 为物种数,$Pi = Ni/N$,Ni 为第 i 个物种的个体数,N 为总个体数(Krebs, 1999)。

利用 Excel 2010 进行数据整理,利用 SPSS 16.0 软件对实验数据进行统计分析。使用 Duncan 氏复极差检验进行多重比较。

2 结果

2.1 转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33 对田间节肢动物的影响

2.1.1 对田间节肢动物多样性的影响:2019 年 6 – 9 月,13 次调查安徽合肥大豆田节肢动物数量(百株虫口数)的统计结果显示(图 1),大豆生长的前期至中期(6 月 11 日 – 8 月 20 日),喷施清水的转基因抗除草剂大豆 ZUTS-33、受体大豆 HC-3 和本地主栽大豆 ZH-13 以及喷施除草剂的 ZUTS-33 上的百株虫口数变化趋势较为一致,仅 8 月 13 日喷施清水的 ZUTS-33 上百株虫口数显著高于其他 3 种处理($P < 0.05$);大豆生长后期的 3 次(8 月 27 日、9 月 3 日和 9 月 10 日)调查结果显示,4 种处理间百株虫

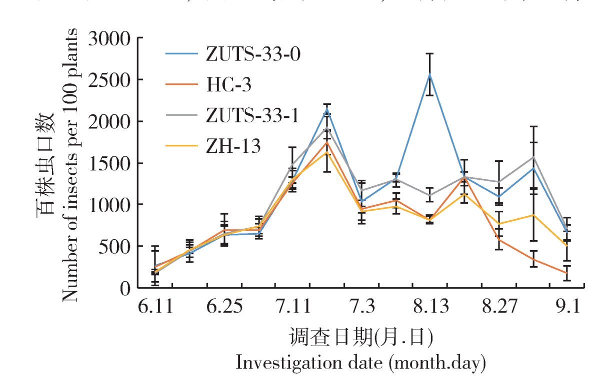


图 1 2019 年大豆田节肢动物数量(安徽合肥)

Fig. 1 The number of arthropods in soybean fields in Hefei, Anhui in 2019

ZUTS-33-0: 转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33, 喷施清水 The herbicide-resistant transgenic *g10-epsps* soybean ZUTS-33, sprayed with water; HC-3: 受体大豆华春 3 号, 喷施清水 The receptor soybean Huachun 3, sprayed with water; ZUTS-33-1: 转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33, 喷施草甘膦除草剂农达(3 000 mL/hm^2) The herbicide-resistant transgenic *g10-epsps* soybean ZUTS-33, sprayed with Roundup (3 000 mL/hm^2); ZH-13: 本地主栽大豆品种中黄 13, 喷施清水 The main local soybean cultivar Zhonghuang 13, sprayed with water. 图中数值为平均值 ± 标准差。Data in the figure are means ± *SD*. 下同 The same below.

口数存在一定差异，喷施清水和除草剂的 ZUTS-33 上百株虫口数高于喷施清水的 HC-3 与 ZH-13 上的，这与不同品种生长周期的差异有关。

比较不同调查时期 4 种处理间田间节肢动物的多样性指数(图 2)，发现各指标均表现为在大豆生长的前期、中期 4 种处理间差异不显著($P>0.05$)。从丰富度指数(图 2：A)来看，仅 9 月 3 日调查结果显示 4 种处理间存在差异，表现为喷施清水的 ZUTS-33 与喷施除草剂的 ZUTS-33 和喷施清水的 ZH-13 之间差异不显著($P>0.05$)，但显著高于喷施清水的 HC-3($P<0.05$)，喷施清水的 HC-3、喷施除草剂的 ZUTS-33 和喷施清水的 ZH-13 间差异不显著($P>0.05$)。香农指数分析(图 2：B)显示，13 次调查 4 种处理间差异均不显著($P>0.05$)。辛普森指数分析(图 2：C)显示，仅 8 月 13 日、9 月 3 日、9 月 10 日 3 次调查 4 种处理间存在显著差异，8 月 13 日表现为喷施清水的 ZUTS-33 显著低于其他 3 种处理；9 月 3 日表现为喷施清水的 HC-3 显著低于其他 3 种处理($P<0.05$)；9 月 10 日则表现为喷施清水的 ZUTS-33 的辛普森指数与喷施除草剂的 ZUTS-33 和喷施清水的 ZH-13 间差异不显著($P>0.05$)，但显著高于喷施清水的 HC-3($P<0.05$)，喷施清水的 HC-3、喷施除草剂的 ZUTS-33 和喷施清水的 ZH-13 三者间差异不显著($P>0.05$)。优势集中性指数分析(图 2：D)显示，仅 8 月 13 日、9 月 3 日、9 月 10 日 3 次调查 4 种处理间存在显著差异($P<0.05$)，8 月 13 日表现为喷施清水的 ZUTS-33 与喷施除草剂的 ZUTS-33 间差异不显著($P>0.05$)，但显著高于喷施清水的 HC-3 和 ZH-13($P<0.05$)；9 月 3 日表现为喷施清水的 ZUTS-33 与喷施除草剂的 ZUTS-33 和喷施清水的 ZH-13 三者间差异均不显著($P>0.05$)，但三者均显著低于喷施清水的 HC-3($P<0.05$)；9 月 10 日则表现为喷施清水的 ZUTS-33 与喷施除草剂的 ZUTS-33 和喷施清水的 ZH-13 间差异不显著($P>0.05$)，但显著低于喷施清水的 HC-3($P<0.05$)，喷施清水的 HC-3、喷施除草剂的 ZUTS-33 和喷施清水的 ZH-13 三者间差异不显著($P>0.05$)。均匀度指数分析(图 2：E)显示，8 月 13 日、8 月 20 日 2 次调查 4 种处理间存在显著差异($P<0.05$)，8 月 13 日表现喷施清水的 ZUTS-33 显著低于喷施清水的 HC-3、喷施除草剂的 ZUTS-33 和喷施清水的 ZH-13($P<0.05$)；8 月 20 日表现为喷施清水的 ZUTS-33 与喷施除草剂的 ZUTS-33 和喷施清水的 ZH-13 间差异不显著($P>0.05$)，但这 3 种处理的均匀度指数均显著低于喷施清水的 HC-3。从整体上看，转 *g10-epsps* 基因耐除草剂大豆 ZUTS-33 的种植对田间节肢动物各生态指标无显著影响，生长后期存在一定差异可能与不同品种大豆生长周期的差异有关。

2.1.2　对田间害虫和天敌的影响：对大豆田粉虱(Aleyrodidae)、蚜虫(Aphidoidea)、蓟马(Thripidae)、叶甲(Chrysomelidae)、叶蝉(Cicadellidae)和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 6 类害虫数量进行统计分析，调查期间这 6 类害虫的变化趋势较为一致(图 3)。粉虱数量呈现先上升后期逐渐稳定的趋势，8 月 13 日喷施清水的 ZUTS-33 处理粉虱数量高于其他 3 种处理，8 月 27 日开始不同处理间存在一定差异，喷施清水和除草剂的 ZUTS-33 均高于喷施清水的 HC-3 与 ZH-13 上的(图 3：A)；蚜虫的发生高峰出现在 7 月 23 日、8 月 20 日左右，4 种处理变化趋势较为一致，8 月 27 开始不同处理间存在一定差异，喷施清水和除草剂的 ZUTS-33 均显著高于喷施清水的 HC-3 与 ZH-13($P<0.05$)(图 3：B)；蓟马表现为先上升后降低的趋势，发生高峰出现在 7 月 11 日左右(图 3：C)；叶甲数量在整个生育期较为稳定，9 月 3 日、9 月 10 日两次调查结果显示喷施清水的 HC-3 的叶甲数量显著低于其他 3 种处理(图 3：D)；叶蝉表现为先上升后降低的趋势，7 月数量相对较多(图 3：E)；棉铃虫数量在整个生育期数量相对较少，各次调查均在 20 头/百株以内(图 3：F)。

对大豆田蜘蛛(Araneida)、瓢虫(Coccinellidae)、草蛉(Chrysopidae)、花蝽(Anthocoridae)、盲蝽(Miridae)和造桥虫 *Anomis flava* 6 类天敌数量进行统计分析，调查期间这 6 类天敌的变化趋势较为一致(图 4)。蜘蛛、瓢虫和花蝽数量呈现先上升后降低的趋势，蜘蛛发生高峰在 7 月 23 日左右，瓢虫表现为 7 月末至 8 月中数量相对较大，花蝽发生高峰在 6 月末至 7 月初；草蛉呈现“升高-降低-升高-降低”的趋势，7 月中与 8 月末数量相对较大；盲蝽与造桥虫数量较少，各处理均在 15 头/百株以内。

2.2　转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33 对田间杂草的影响

2.2.1　对田间杂草密度的影响：喷施除草剂前(7 月 10 日)的调查结果显示，4 种处理的田间杂草密度差异均不显著($P>0.05$)；7 月 30 日、8 月 5 日和 8 月 27 日的调查结果则表现为喷施除草剂的 ZUTS-33 田间杂草密度显著低于喷施清水的 ZUTS-33，HC-3 和 ZH-13($P<0.05$)，且该 3 次调查中 4 种处理大豆

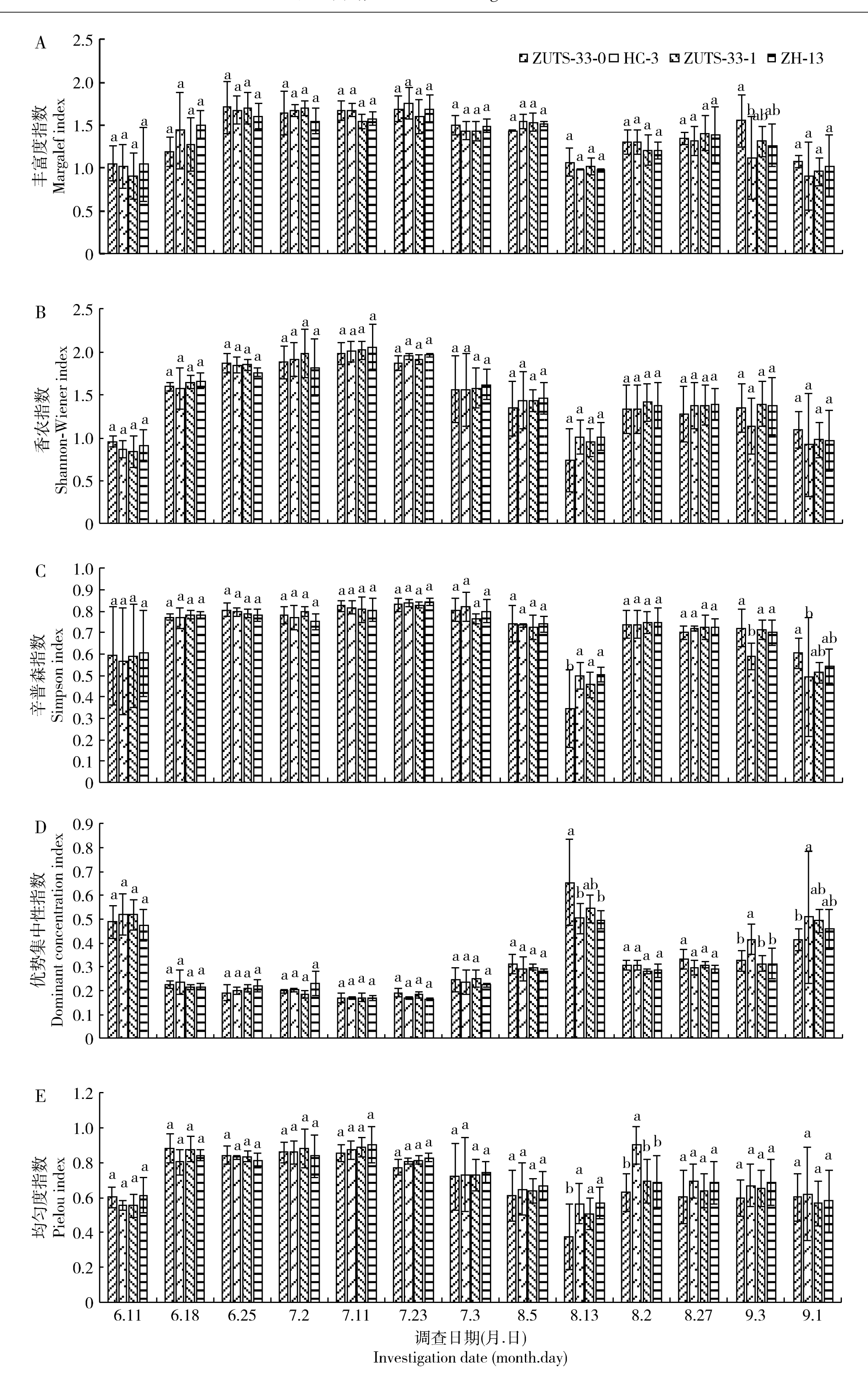


图 2 2019 年大豆田节肢动物生物多样性指数(安徽合肥)

Fig. 2 The biodiversity indexes of arthropods in soybean fields in Hefei, Anhui in 2019

A：丰富度指数 Margalef index；B：香农指数 Shannon-Wiener index；C：辛普森指数 Simpson index；D：优势集中性指数 Dominance concentration index；E：均匀度指数 Pielou index. 柱上不同小写字母表示该次调查 4 种处理间差异显著($P<0.05$，Duncan 氏复极差检验)。Different small letters above bars indicate significant differences among the four treatments in this survey ($P<0.05$, Duncan's multiple range test). 图 5 同 The same for Fig. 5.

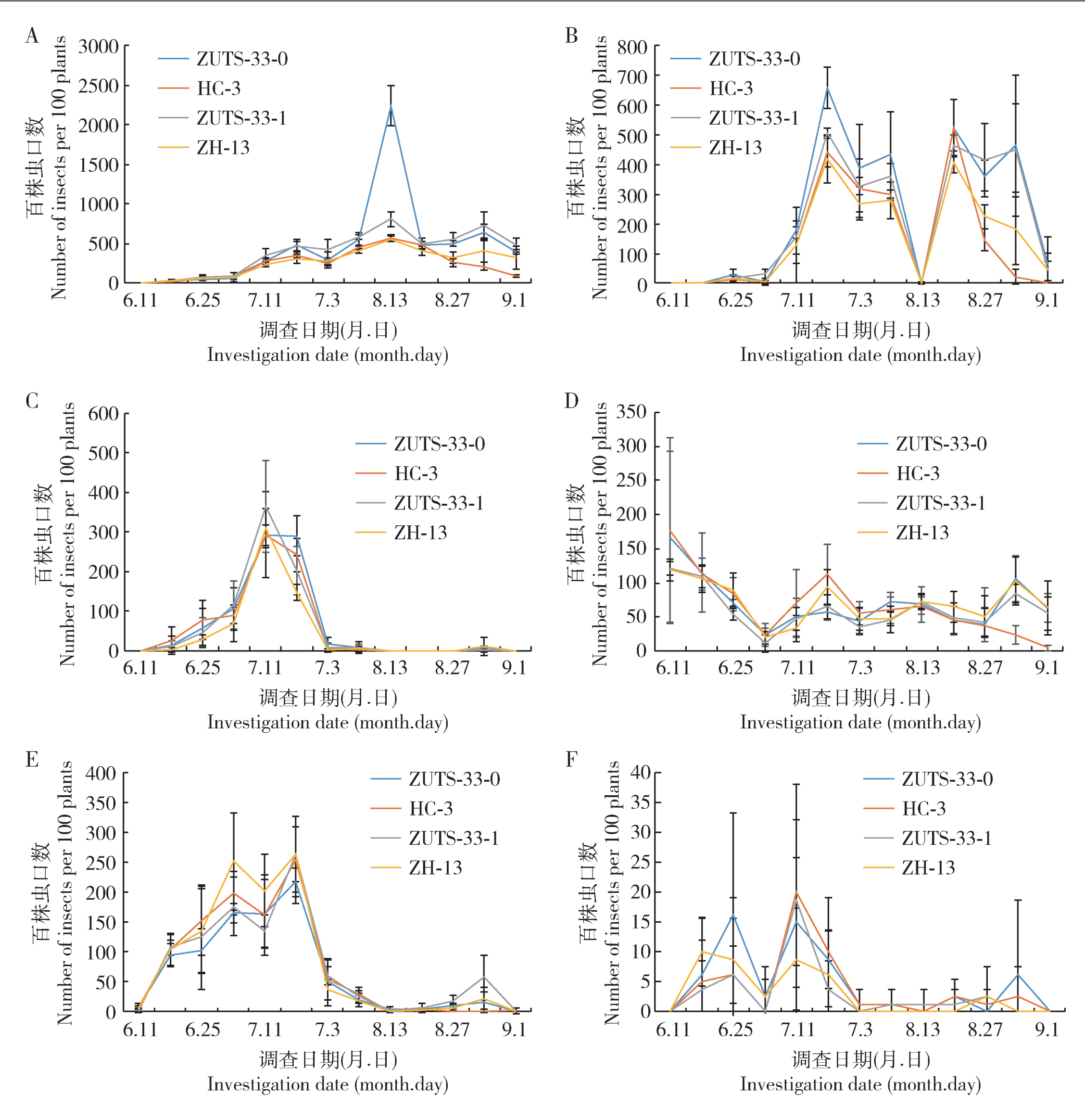


图 3　2019 年大豆田 6 类害虫种群动态(安徽合肥)

Fig. 3　Population dynamics of six pest groups in soybean fields in Hefei, Anhui in 2019

A：粉虱 Whiteflies；B：蚜虫 Aphids；C：蓟马 Thrips；D：叶甲 Leaf beetles；E：叶蝉 Leafhoppers；F：棉铃虫 *Helicoverpa armigera*.

田杂草密度均低于 7 月 10 日的调查结果(图 5)。

2.2.2　对田间杂草物种组成的影响：不同处理大豆田杂草发生种类有 8 科 10 种(表 1 和表 2)。喷施除草剂前(7 月 10 日)的调查结果显示，4 种处理间除莲子草和牵牛存在一定差异外，田间其他种类杂草的植株数量差异均不显著($P>0.05$)；7 月 30 日、8 月 5 日、8 月 27 日 3 次调查均显示，喷施除草剂的 ZUTS-33 田间各类杂草数量均显著低于其他 3 个喷施清水的处理($P<0.05$)，且 3 个喷施清水的处理间整体上差异不显著($P>0.05$)，表明转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33 的种植对田间杂草数量无显著影响，但喷施除草剂对田间杂草的控制效果显著。

2.2.3　大豆田杂草群落特征：对各处理大豆田杂草群落各多样性指数进行分析(图 6)，丰富度指数显示，7 月 10 日与 7 月 30 日的调查结果均为 4 种处理间差异不显著($P>0.05$)；8 月 5 日则表现为喷施除草剂的 ZUTS-33 的丰富度指数显著低于喷施清水的 HC-3 和 ZH-13($P<0.05$)，但与喷施清水的 ZUTS-33 间差异不显著($P>0.05$)；8 月 27 日的调查结果表现为喷施除草剂的 ZUTS-33 的丰富度指数显著低于喷施清水的 3 种处理($P<0.05$)。香农指数分析结果显示，7 月 10 日的调查结果为 4 种处理间差异均不显著($P>0.05$)；7 月 30 日的调查则表现为喷施清水的 ZUTS-33 与 HC-3 和 ZH-13 间差异不显著($P>0.05$)，喷施除草剂的 ZUTS-33 的香农指数显著低于喷施清水的 3 种处理($P<0.05$)。8 月 5 日、8 月 27 日的调查结果均表现为喷施清水的 3 种处理间香农指数差异不显著($P>0.05$)，但喷施除草

图 4　2019 年大豆田 6 类天敌种群动态(安徽合肥)

Fig. 4　Population dynamics of six natural enemy groups in soybean fields in Hefei, Anhui in 2019

A: 蜘蛛 Spiders; B: 瓢虫 Ladybirds; C: 草蛉 Lacewing; D: 花蝽 Flower bugs; E: 盲蝽 Plant bugs; F: 造桥虫 *Anomis flava*.

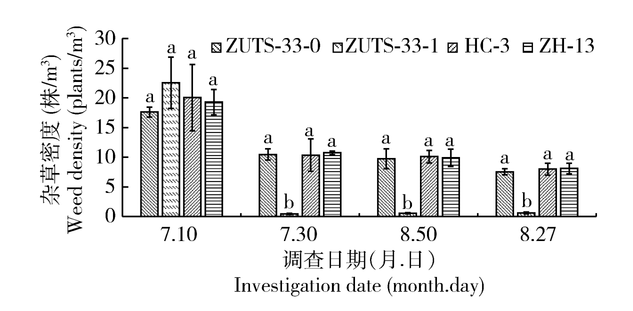


图 5　2019 年大豆田杂草密度(安徽合肥)

Fig. 5　Weed density in soybean fields in Hefei, Anhui in 2019

剂的 ZUTS-33 的香农指数显著低于其他 3 种处理($P<0.05$)。辛普森指数分析结果显示,7 月 10 日的调查结果为 4 种处理差异间均不显著($P>0.05$);7 月 30 日、8 月 5 日、8 月 27 日的调查则表现为喷施清水的 ZUTS-33 与 HC-3 和 ZH-13 间差异不显著($P>0.05$),但喷施除草剂的 ZUTS-33 与喷施清水的 3 种处理间差异显著($P<0.05$)。均匀度指数分析结果显示,7 月 10 日的调查结果为 4 种处理间差异均不显著($P>0.05$);7 月 30 日、8 月 5 日、8 月 27 日均表现为喷施清水的 ZUTS-33 与 HC-3 和 ZH-13 间差异不显著($P>0.05$),但喷施除草剂的 ZUTS-33 与其他处理间存在显著差异($P<0.05$)。分析结果表明,抗除草剂大豆 ZUTS-33 的种植对田间杂草各多样性指数无显著影响,但后期喷施除草剂会对其产生一定影响。

3　讨论

节肢动物是生态系统的重要组成部分, 处于食

表 1　2019 年大豆田发生杂草种类(安徽合肥)

Table 1　Weed species in soybean fields in Hefei, Anhui in 2019

科名 Family	种名 Species	生长周期 Growth cycle
禾本科 Gramineae	牛筋草 *Eleusine indica*	一年生草本 Annual herbaceous
鸭跖草科 Commelinaceae	鸭跖草 *Commelina communis*	一年生草本 Annual herbaceous
豆科 Leguminosae	合萌 *Aeschynomene indica*	一年生草本 Annual herbaceous
锦葵科 Malvaceae	赛葵 *Malvastrum coromandelianum*	一年生草本 Annual herbaceous
	苋 *Amaranthus tricolor*	一年生草本 Annual herbaceous
苋科 Amaranthaceae	莲子草 *Alternanthera sessilis*	多年生草本 Perennial herbaceous
	青葙 *Celosia argentea*	一年生草本 Annual herbaceous
旋花科 Convolvulaceae	牵牛 *Pharbitis nil*	一年生草本 Annual herbaceous
大戟科 Euphorbiaceae	铁苋菜 *Acalypha australis*	一年生草本 Annual herbaceous
马齿苋科 Portulacaceae	马齿苋 *Portulaca oleracea*	一年生草本 Annual herbaceous

物链中的关键位置,在维持农田生态系统正常功能上发挥着重要作用(戈峰等, 2014; 王尚等, 2014),其多样性可体现生物与生物、生物与环境之间的相互关系,被视为是评价转基因作物生态风险的重要指标。本研究重点分析了转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33 对田间节肢动物的影响,从调查结果上来看,各处理间大豆生长前期至中后期田间百株虫口数及各生态指标间差异不显著($P > 0.05$)(图 1),后期出现差异的主要原因可能是不同品种大豆生长周期有所不同,HC-3 与 ZH-13 生长周期相对较短,完熟期出现较早,导致调查后期其田间节肢动物种类、数量出现不同程度的下降;其次,除草剂的施用会使田间与杂草关系紧密的节肢动物数量出现一定的波动(Cerdeira *et al*., 2007),喷施除草剂的处理在后期喷施农达后杂草的减少使田间节肢动物发生了一定变化。本研究得出的转基因抗除草剂大豆的种植对田间节肢动物影响不显著的结论与前人报道较为一致。已有研究表明,转基因大豆(李凡等, 2013)、玉米(何浩鹏等, 2018; 张洵铭等, 2018; 任梦云等, 2019)等的种植对田间节肢动物多样性的影响不显著,转基因作物的种植对农业生态系统不存在潜在风险(康岭生等, 2014)。陈伟等(2019)对抗草甘膦转基因大豆 SHZD32-01 的研究发现其对田间主要节肢动物数量、群落特征无显著影响;Buckelew (2000)研究发现,与对照相比,抗除草剂大豆田叶甲和马铃薯叶蝉的数量未出现显著变化;Mcpherson 等(2003)亦认为转基因抗除草剂大豆田节肢动物丰度与常规大豆相比无显著差异;Marques 等(2018)发现与非转基因大豆相比,转基因大豆 DAS-81419-2 对田间非靶标昆虫多样性无显著影响。但是也有研究得出了不同的结论,认为转基因抗虫作物的种植会在一定程度上造成田间天敌昆虫数量的下降及非靶标昆虫数量的上升(刘清松等, 2014);部分研究认为转基因抗虫作物可能影响田间节肢动物群落的丰富度和多样性,从而提高生态系统稳定性(Bhatti *et al*., 2005; Bitzer *et al*., 2005)。

从本研究的结果来看,无论是田间杂草密度还是各生态学指标,转 *g10-epsps* 基因抗除草剂大豆 ZUTS-33 的种植并未对其产生显著影响($P > 0.05$)(图 5; 表 2),这与已有的部分研究结果较为一致。刘来盘等(2019)研究发现,转 *g10-epsps* 基因耐除草剂大豆田杂草多样性与受体大豆差异不显著;陈伟等(2019)指出,与受体中豆 32 相比,抗草甘膦转基因大豆 SHZD32-01 种植 1 年后对田间杂草多样性无显著影响;张卓(2011)研究发现抗草甘磷转基因大豆 AG5601、呼交 03-263、呼交 06-698 的种植对田间杂草密度、均度、频率、丰富度均未产生显著影响;赵思楠(2016)研究发现转 *G10evo-epsps* 基因和 *cry1Ab/cry2Aj* 融合基因抗虫耐草甘膦玉米双抗 12-6 田间杂草种类、密度等均与对照无明显差异,即双抗 12-6 对田间杂草多样性无显著影响。但 Bohan 等(2005)研究发现,抗草甘膦油菜的种植使田间单子叶、双子叶杂草比例发生了变化;也有研究认为转基因作物的竞争优势抢占生存空间,可能产生“化感”作用以抑制杂草生长(Inderjit and Keating, 1999)。

本研究得出,喷施草甘膦除草剂农达后对大豆田杂草的控制效果较为明显,同时对杂草丰富度、多样性等生态学指标产生了一定的影响(图 6)。已有研究表明应用草甘膦对转基因大豆杂草防除效果明显(陈银竹等, 2018);Shaner (2000)研究指出,喷施草甘膦会造成田间杂草群落结构的改变,使苋、藜

表 2　2019 年大豆田杂草物种数量调查结果(安徽合肥)

Table 2　Investigation results of the number of weed species in soybean fields in Hefei, Anhui in 2019

调查日期(月.日) Investigation date (month. day)	处理 Treatments	杂草种类 Weed species 牛筋草 *Eleusine indica*	鸭跖草 *Commelina communis*	合萌 *Aeschynomene indica*	赛葵 *Malvastrum coromandelianum*	苋 *Amaranthus tricolor*	莲子草 *Alternanthera sessilis*	青葙 *Celosia argentea*	牵牛 *Pharbitis nil*	铁苋菜 *Acalypha australis*	马齿苋 *Portulaca oleracea*
7.10	ZUTS-33-0	6.00 ±2.16 a	8.25 ±2.75 a	6.75 ±4.57 a	9.00 ±9.49 a	43.00 ±14.31 a	4.00 ±3.37 b	0.00 ±0.00 a	0.75 ±0.96 a	9.00 ±10.13 a	1.25 ±0.96 a
	ZUTS-33-1	4.50 ±1.29 a	6.75 ±7.09 a	6.25 ±2.99 a	10.25 ±6.55 a	60.00 ±16.39 a	12.00 ±4.97 a	0.00 ±0.00 a	0.75 ±1.50 a	2.50 ±5.00 a	9.75 ±9.11 a
	HC-3	5.00 ±1.41 a	5.00 ±3.37 a	5.5 ±2.89 a	9.00 ±3.74 a	57.00 ±18.17 a	6.00 ±3.92 ab	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 b	3.25 ±1.26 a	9.50 ±11.39 a
	ZH-13	5.25 ±3.40 a	5.50 ±5.51 a	4.50 ±0.58 a	13.75 ±11.12 a	50.50 ±5.51 a	6.25 ±8.50 ab	0.00 ±0.00 a	0.50 ±1.00 a	4.50 ±4.43 a	5.75 ±3.86 a
7.30	ZUTS-33-0	2.00 ±1.41 a	3.75 ±2.36 a	2.25 ±2.06 a	12.00 ±3.56 a	25.25 ±6.40 a	1.25 ±1.50 b	4.75 ±4.19 a	1.00 ±1.15 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
	ZUTS-33-1	0.00 ±0.00 b	0.00 ±0.00 b	0.00 ±0.00 b	1.00 ±0.00 b	1.25 ±0.50 b	0.00 ±0.00 c	0.00 ±0.00 b	0.00 ±0.00 b	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
	HC-3	2.00 ±0.00 a	6.75 ±5.12 a	2.50 ±2.38 a	10.50 ±5.51 a	20.75 ±3.50 a	4.00 ±5.23 a	4.75 ±5.50 a	0.50 ±1.00 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
	ZH-13	1.75 ±0.96 a	3.75 ±3.50 a	1.75 ±1.26 a	13.5 ±10.08 a	28.00 ±11.34 a	1.00 ±1.15 b	3.25 ±2.06 a	0.75 ±1.50 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
8.5	ZUTS-33-0	2.50 ±1.00 a	6.50 ±3.11 a	1.75 ±0.50 b	7.75 ±6.29 a	26.00 ±7.07 a	0.75 ±1.50 a	3.50 ±4.51 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
	ZUTS-33-1	0.50 ±1.00 b	0.00 ±0.00 b	0.00 ±0.00 c	1.00 ±0.82 b	1.25 ±0.50 b	0.00 ±0.00 b	0.00 ±0.00 b	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
	HC-3	2.50 ±1.00 a	6.00 ±2.71 a	3.00 ±1.63 a	8.25 ±5.74 a	25.75 ±5.91 a	0.75 ±0.96 a	4.25 ±2.87 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
	ZH-13	3.50 ±1.29 a	4.50 ±2.38 a	3.75 ±1.26 a	9.00 ±4.97 a	22.75 ±10.44 a	0.25 ±0.50 a	5.75 ±3.30 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
8.27	ZUTS-33-0	1.75 ±0.50 a	5.00 ±1.83 a	2.00 ±0.82 a	5.00 ±4.00 a	20.75 ±2.22 a	0.00 ±0.00 a	3.25 ±2.06 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
	ZUTS-33-1	0.00 ±0.00 b	0.25 ±0.50 b	0.00 ±0.00 b	0.75 ±0.96 b	1.75 ±0.96 b	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 b	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
	HC-3	2.50 ±1.29 a	4.25 ±2.06 a	2.50 ±1.00 a	6.75 ±3.59 a	20.25 ±3.59 a	0.00 ±0.00 a	3.75 ±2.06 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a
	ZH-13	2.25 ±1.50 a	3.50 ±1.29 a	3.50 ±1.00 a	8.00 ±5.72 a	19.00 ±6.22 a	0.00 ±0.00 a	4.25 ±1.50 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a	0.00 ±0.00 a

表中数值为平均值 ±标准差；同列数据后不同小写字母表示该次调查 4 种处理间差异显著($P<0.05$, Duncan 氏复极差检验). Data in the table are means ± *SD*. Different small letters following the data in the same column indicate significant differences among the four treatments in this survey ($P<0.05$, Duncan's multiple range test).

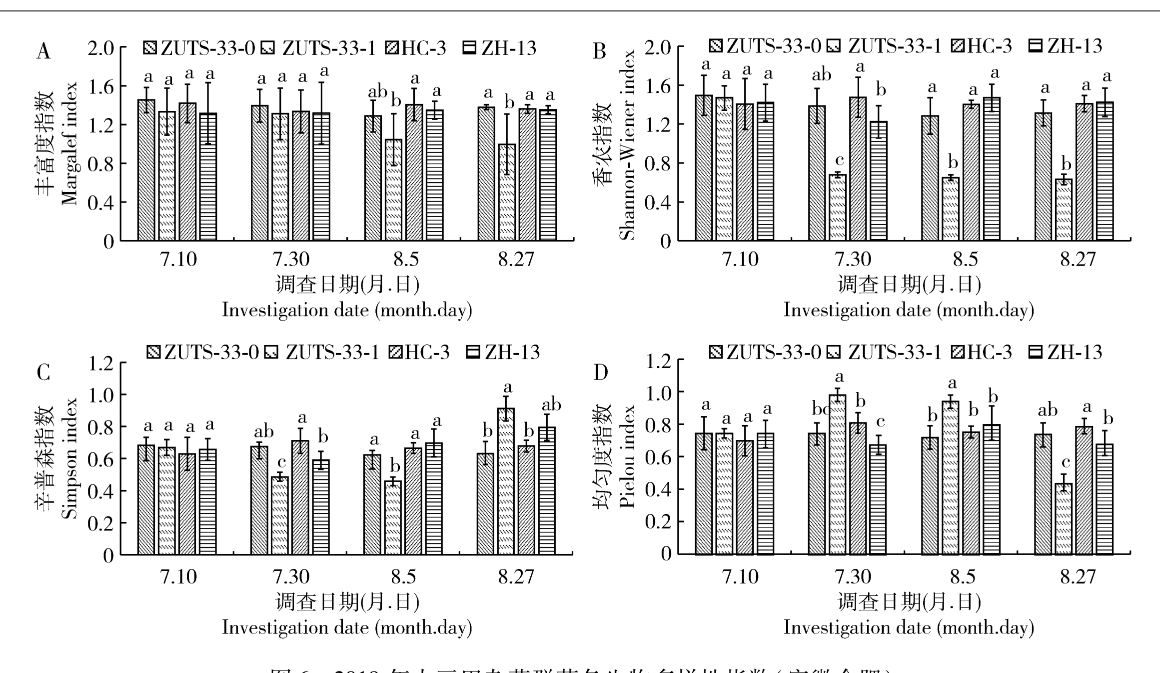


图 6　2019 年大豆田杂草群落各生物多样性指数(安徽合肥)

Fig. 6　The biodiversity indexes of weeds in soybean fields in Hefei, Anhui in 2019

等杂草的发生频繁增加。

关于转基因作物对生物多样性影响的研究结果之所以存在差异,与转基因作物本身受体的类型、导入的外源基因、选择的评价指标以及研究方法等密切相关,在接下来的研究中,需遵循个案原则(刘标等, 2016),扩大研究范围,运用长期定位观测模式,进行更深入的分析,注重监测转基因作物对土壤生态系统的生态蠕变效应的有效性和及时性,明确其影响机制、强度及持续效应,更加科学、系统、准确地进行转基因作物的生态安全评价,以得到更加明确的结论。

参考文献(References)

Bhatti MA, Duan J, Head GP, Jiang CJ, McKee MJ, Nickson TE, Pilcher CL, Pilcher CD, 2005. Field evaluation of the impact of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae)-protected *Bt* corn on foliage-dwelling arthropods. *Environ. Entomol.*, 34(5): 1336–1345.

Bitzer RJ, Rice ME, Pilcher CD, Pilcher CL, Lam WKF, 2005. Biodiversity and community structure of epedaphic and euedaphic springtails (Collembola) in transgenic rootworm *Bt* corn. *Environ. Entomol.*, 34(5): 1346–1376.

Boban DA, Boffey CW, Brooks DR, Clark SJ, Dewar AM, Firbank LG, Haughton AJ, Hawes C, Heard MS, May MJ, Osborne JL, Perry JN, Rothery P, Roy DB, Scott RJ, Squire GR, Woiwod LP, Champion GT, 2005. Effects on weed and invertebrate abundance and diversity of herbicide management in genetically modified herbicide-tolerant winter-sown oilseed rape. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, 272(1562): 463–474.

Buckelew LD, 2000. Effects of weed management systems on canopy insects in herbicide-resistant soybeans. *J. Econ. Entomol.*, 93(5): 1437–1443.

Cerdeira AL, Gazziero DLP, Duke SO, Matallo MB, Spadotto CA, 2007. Review of potential environmental impacts of transgenic glyphosate-resistant soybean in Brazil. *J. Environ. Sci. Health B*, 42(5): 539–549.

Chen W, Li N, Cao YP, 2019. Assessment of glyphosate-resistant transgenic soybean SHZD32-01 on biodiversity of arthropod and weed. *J. Shanghai Jiaotong Univ.* (*Agric. Sci.*), 37(1): 54–60. [陈伟, 李娜, 曹越平, 2019. 抗草甘膦转基因大豆 SHZD32-01 田间节肢动物和杂草多样性研究. 上海交通大学学报(农业科学版), 37(1): 54–60]

Chen YZ, Ding W, Liu SN, Muhammad SK, 2018. Study on the safety of glyphosate to transgenic soybean. *Jiangsu Agric. Sci.*, 46(16): 56–59. [陈银竹, 丁伟, 刘胜男, Muhammad SK, 2018. 草甘膦对转基因抗草甘膦大豆的安全性研究. 江苏农业科学, 46(16): 56–59]

Ge F, Ouyang F, Zhao ZH, 2014. Ecological management of insects based on ecological services at a landscape scale. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 51(3): 597–605. [戈峰, 欧阳芳, 赵紫华, 2014. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. 应用昆虫学报, 51(3): 597–605]

Gilbert N, 2013. A hard look at GM crops. *Nature*, 497(7447): 24–26.

He HP, Ren ZT, Shen WJ, Liu B, Xue K, 2018. Effects of transgenic herbicide-tolerate maize on biodiversity of arthropod communities in the fields. *J. Ecol. Rural Environ.*, 34(4): 333–341. [何浩鹏, 任振涛, 沈文静, 刘标, 薛堃, 2018. 耐除草剂转基因玉米对田间节肢动物群落多样性的影响. 生态与农村环境学报, 34(4): 333–341]

Inderjit, Keating KI, 1999. Allelopathy: principles, procedures, processes, and promises for biological control. *Adv. Agron.*, 67: 141–231.

ISAAA, 2019. Development trend of global biotechnology/transgenic crops commercialization in 2018. *China Biotechnol.*, 39(8): 1–6. [国际农业生物技术应用服务组织, 2019. 2018 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势. 中国生物工程杂志, 39(8): 1–6]

Jiang WH, Zhang DJ, Liu JX, Li CL, Lu ZY, Yang MS, 2018. Comparative analysis of arthropod communities in transgenic *Bt* and non-transgenic poplar-cotton composite systems. *Sci. Silv. Sin.*, 54(10): 73–79. [姜文虎, 张德健, 刘军侠, 李超丽, 路战远, 杨敏生, 2018. 转 *Bt* 基因和非转基因杨树-棉花复合系统中节肢动物群落比较分析. 林业科学, 54(10): 73–79]

Kang LS, Ma R, Yang XD, Li CC, Wang YM, 2014. Assess of impact of high oleic transgenic soybean HOA80 on biodiversity. *J. Jilin Agric. Sci.*, 39(2): 33–36. [康岭生, 马瑞, 杨向东, 李葱葱, 王玉民, 2014. 高油酸转基因大豆 HOA-(80)对生物多样性影响的检测. 吉林农业科学, 39(2): 33–36]

Krebs CJ, 1999. Ecological Methodology. Addison Wesley Longman, California. 373–454.

Lee ZL, Bu N, Cui J, Chen XP, Xiao MQ, Wang F, Song ZP, Fang CM, 2017. Effects of long-term cultivation of transgenic *Bt* rice (*Kefeng*-6) on soil microbial functioning and C cycling. *Sci. Rep.*, 7(1): 46–47.

Li F, Sun HW, Zhao W, Yang SK, Lu XB, 2013. Effects of herbicide-tolerant transgenic soybean on biodiversity of arthropod community in field. *Shandong Agric. Sci.*, 45(7): 83–86. [李凡, 孙红炜, 赵维, 杨淑珂, 路兴波, 2013. 抗除草剂转基因大豆对田间节肢动物群落多样性的影响. 山东农业科学, 45(7): 83–86]

Liu B, Han J, Xue K, 2016. Progress in the environmental monitoring of transgenic plants. *Acta Ecol. Sin.*, 36(9): 2490–2496. [刘标, 韩娟, 薛堃, 2016. 转基因植物环境监测进展. 生态学报, 36(9): 2490–2496.]

Liu HF, Shen HB, 2013. Brief talk about the impact of transgenic technologies on biodiversity. *World Environ.*, (4): 34–38. [刘华锋, 沈海滨, 2013. 浅谈转基因技术对生物多样性的影响——从转基因食品谈起. 世界环境, (4): 34–38]

Liu LP, Shen WJ, Xue K, Liu B, 2019. Impact of herbicide-resistant soybean ZUTS-33 with *g10-epsps* gene on biodiversity in the fields. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 31(1): 122–128. [刘来盘, 沈文静, 薛堃, 刘标, 2019. 转 *g10-epsps* 基因耐除草剂大豆 ZUTS-33 对农田生物多样性的影响. 应用生态学报, 31(1): 122–128]

Liu QS, Li YH, Chen XP, Peng YF, 2014. Research progress in chemical communication among insect-resistant genetically modified plants, insect pests and natural enemies. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 25(8): 2431–2439. [刘清松, 李云河, 陈秀萍, 彭于发, 2014. 转基因抗虫植物-植食性昆虫-天敌间化学通讯的研究进展. 应用生态学报, 25(8): 2431–2439]

Marques LH, Santos AC, Castro BA, Storer NP, Babcock JM, Lepping MD, Sa V, Moscardini VF, Rule DM, Fernandes OA, 2018. Impact of transgenic soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins on the non-target arthropod community associated with soybean in Brazil. *PLoS ONE*, 13(2): e0191567.

Mcpherson RM, Johnson WC, Mullinix BG, Mills WA, Peebles FS, 2003. Influence of herbicide tolerant soybean production systems on insect pest populations and pest-induced crop damage. *J. Econ. Entomol.*, 96(3): 690–698.

Ren MY, Chen YJ, Guan X, 2019. Effects of transgenic insect-resistant maize harboring *Cry1Ah* on invertebrate biodiversity. *J. Agro-Environ. Sci.*, 38(10): 2287–2296. [任梦云, 陈彦君, 关潇, 2019. 转 *Cry1Ah* 基因抗虫玉米对无脊椎动物多样性影响研究. 农业环境科学学报, 38(10): 2287–2296]

Shaner DL, 2000. The impact of glyphsate-tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management. *Pest Manag. Sci.*, 56(4): 320–326.

Tan WW, Wang YB, Zhao YL, Liu ZJ, Wang GJ, 2019. Global development of genetically modified soybeans. *Soybean Sci. Technol.*, (4): 34–38. [谭巍巍, 王永斌, 赵远玲, 刘昭军, 王广金, 2019. 全球转基因大豆发展概况. 大豆科技, (4): 34–38]

Turrini A, Sbrana C, Giovannetti M, 2015. Belowground environmental effects of transgenic crops: a soil microbial perspective. *Res. Microbiol.*, 166(3): 121–131.

Wang S, Wang BF, Yan DS, Wang J, Wu FC, Xi JH, Song XY, 2014. Impacts of transgenic herbicide-resistant maize with EPSPS gene on arthropod biodiversity in the fields. *J. Biosafe.*, 23(4): 271–277. [王尚, 王柏凤, 严杜升, 王军, 武奉慈, 席景会, 宋新元, 2014. 转 EPSPS 基因抗除草剂玉米 CC-2 对田间节肢动物多样性的影响. 生物安全学报, 23(4): 271–277]

Yin JQ, Wu FC, Zhou L, Song XY, 2017. Impacts of a transgenic insect-resistant maize (Bt-799) containing a *Cry1Ac* gene on arthropod biodiversity. *J. Biosafe.*, 26(2): 159–167. [尹俊琦, 武奉慈, 周琳, 宋新元, 2017. 转 *Cry1Ac* 基因抗虫玉米 Bt-799 对田间节肢动物群落多样性的影响. 生物安全学报, 26(2): 159–167]

Zhang XM, Cui YZ, Wang BF, Song XY, Wang J, 2018. Impacts of transgenic maize with *Cry1Ab/Cry2Aj* and *G10evo-EPSPS* gene on arthropod community in the fields. *J. Agric. Sci. Yanbian Univ.*, 40(3): 22–28. [张洵铭, 崔彦泽, 王柏凤, 宋新元, 王军, 2018. 转 *Cry1Ab/Cry2Aj* 和 *G10evo-EPSPS* 基因玉米 12-5 对田间节肢动物群落的影响. 延边大学农学学报, 40(3): 22–28]

Zhang Z, 2011. Effects of Glyphosate Resistant Transgenic Soybean on Biodiversity. MSc Thesis, Hunan Agricultural University, Changsha. [张卓, 2011. 抗草甘膦转基因大豆对生物多样性影响. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文]

Zhao SN, 2016. Study on the Glyphosate-resistance and Living Competitiveness of Transgenic Maize "Shuangkang 12-6" and Its Effect on Weeds Variety. MSc Thesis, Zhejiang University, Hangzhou. [赵思楠, 2016. 转基因玉米"双抗 12-6"草甘膦耐受性、生存竞争力及其对杂草多样性影响的研究. 杭州: 浙江大学硕士学位论文]

(责任编辑: 赵利辉)